

Univerzita Karlova v Praze,  
Přírodovědecká fakulta

Ústav geochemie, mineralogie  
a nerostných zdrojů



## **Jáchymovské radioaktivní prameny – žilná struktura Geschieber**

## **Jáchymov radioactive springs – Geschieber vein structure**



Bakalářská práce

**Petra Išková**

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Viktor Goliáš, Ph.D.

Praha, 2008

**Děkuji Mgr. Viktoru Goliášovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a trpělivost při zpracovávání bakalářské práce.**

**Dále bych ráda poděkovala pracovníkům ČGS panu Radku Šaričovi a Zdeňku Novotnému, za pomoc ve skladu Lužná a vstřícnost při měření vrtu HG-1.**

**Prohlašuji, že předloženou práci jsem vypracovala samostatně a použila jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.**

**V Praze dne 28.8. 2008**

.....

## Abstrakt

Jáchymov je velmi oblíbené hornické a lázeňské město známé svými radioaktivními prameny, které byly objeveny v roce 1905.

Vyskytují se na více místech, např. Štěpovy prameny – důl Rovnost I. Nejvýznamnější zdroje radioaktivní vody jsou vázané na žilnou strukturu Geschieber (Curie, C-1, Běhounek, Agricola). Žíla Geschieber patří do prvního řádu severojižních (půlnočních) žilných struktur. Vrt HG-1 (pramen akademika Běhouneka) byl odvrtán v roce 1962 a v té době měl největší průtok 571,4 l/min při tlaku 19 atm. Jeho aktivita je po většinu doby stabilní kolem 10 kBq/l (Laboutka a Pačes, 1966).

Během tvorby této bakalářské práce bylo zjištěno, že ve skladu hmotné dokumentace ČGS v Lužné u Rakovníka jsou stále uchované metráže vrtu HG-1.

Jako vlastní příspěvek této bakalářské práce k problematice geneze radioaktivní akrototermie byla naměřena gama aktivita zachované části vrtného jádra HG-1, odebralo se pět vzorků hornin a čtyři vzorky žiloviny pro analytické práce.

Byla konstatována vysoká radioaktivita vrtného profilu v části procházející žilou Geschieber. Laboratorní gama spektrometrií byly v odebraných vzorcích naměřeny vysoké aktivity uranu a radia. Maximální aktivita byla zjištěna ve vzorku žiloviny z hloubky 100,0 m, a to 45,6 kBq kg<sup>-1</sup> <sup>226</sup>Ra (t.j. 0,36 % eU) při zvýšeném koeficientu emanace (18,1 %).

Naše zjištění je v kontroverzi s názorem Hynie (1963), že vody získávají svůj obsah radonu v granitu. Výsledky naopak podporují názor Laboutky a Pačese (1966), že radioaktivita vod je způsobena jejich stykem s uranovým (smolincovým) zrudněním.

# Obsah

1. ÚVOD .....	7
2. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ.....	8
2.1 Vymezení území.....	8
2.2 Historie území.....	8
2.3 Klimatické podmínky.....	9
3. PĚTI-PRVKOVÁ (Ag-Bi-Co-Ni±U) MINERALIZACE.....	10
4. GEOLOGICKÉ POMĚRY .....	10
4.1 Geologie.....	10
4.1.1 Metamorfované horniny .....	12
4.1.2 Granitové plutony.....	12
4.1.3 Skarny.....	13
4.2 Tektonika .....	13
4.3 Křehká bloková tektonika .....	13
4.4 Zlomová tektonika.....	14
5. HYDROTERMÁLNÍ ŽILNÝ SYSTÉM .....	15
5.1 Jitřní žíly .....	15
5.2 Půlnoční žíly.....	15
6. HYDROLOGIE A GEOCHEMIE RADIOAKTIVNÍCH PRAMENŮ V JÁCHYMOVSKÉ OBLASTI .....	16
7. PRAMENY NA OSTATNÍCH STRUKTURÁCH (mimo žíly Geschieber) .....	18
7.1 Štěpovy prameny .....	18
7.2 Pramen Hildebrandovy.....	19
7.3 Pramen Becquerel .....	19
7.4 Pramen Evangelista.....	20
7.5 Pramen Prokop.....	20
8. ŽILNÁ STRUKTURA GESCHIEBER .....	20
9. VRT HG-1 .....	23
9.1 Karotáž vrtného jádra HG-1.....	24
9.2 Ve skladu v Lužné u Rakovníka jsou zachované následující metráže vrtu HG-1 .....	25
9.3 Petrografický popis zachovaných metráží .....	25
9.4 Nově provedený petrografický popis jádra vrtu HG-1 uloženého v Lužné.....	25
9.5 Metodika karotáže vrtného jádra .....	26
9.6 Výsledky karotáže vrtného jádra.....	27

<b>9.7 Odběr vzorků vrtného jádra .....</b>	<b>27</b>
<b>9.8 Konstrukce vrtného profilu vrtu HG-1 .....</b>	<b>28</b>
<b>9.9 Laboratorní gama spektrometrie .....</b>	<b>29</b>
10. DISKUSE VÝSLEDKŮ .....	31
11. ZÁVĚR.....	32
12. POUŽITÁ LITERATURA.....	33
13. SEZNAM PŘÍLOH .....	36

# 1. ÚVOD

Vzhledem k povaze mého studijního programu na vysoké škole Univerzity Karlovy v Praze, kde jsem se věnovala oboru geologie, jsem si zvolila u Mgr. Viktora Goliáše, Ph.D.

bakalářskou práci na téma Jáchymovské radioaktivní prameny – žilná struktura Geschieber.

Bakalářská práce byla rozdělena do několika kapitol.

Vědecká práce byla zaměřena na okolí Jáchymova, a to z hlediska geologie, tektoniky a především na radioaktivní prameny, které jsou stěžejním bodem této práce.

Zmíněna zde bude i historie tohoto města. Kdy a kým bylo založeno a co všechno se zde v minulosti těžilo.

Práce detailně prozkoumá začátek využití léčivých účinků radioaktivních pramenů v lázních, s ohledem na zjištění radioaktivity a na prvotní způsoby dopravy vody do těchto lázní.

Důležitou kapitolou budou radioaktivní prameny, které jsou vedeny do lázní, s důrazem na důl Svornost. Pozornost bude také zaměřena na to, v jakém roce byly radioaktivní termy objeveny, na jejich vydatnost, teplotu vody a také aktivitu, stejně jako na důležité žíly, na které jsou vývěry vázané.

Cílem práce bylo zjistit radioaktivitu vrtu HG-1, který je uložen ve skladu Lužná u Rakovníka a konstruovat vrtný profil s příslušnou aktivitou. Dále byl podán nový popis petrografického složení, zrnitosti a další důležité znaky hornin v tomto vrtu. Bylo také odebráno devět vzorků na analýzu. V každém vzorku byly stanoveny obsahy uranu, thoria, ekvivalentu uranu (radia), % draslíku, přepočtenou aktivitu radia a stanoveny koeficienty emanace.

## 2. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

### 2.1 Vymezení území

Město Jáchymov je součástí Karlovarského kraje. Rozkládá se na úpatí Krušných hor nedaleko hranic České republiky s Německem, přibližně 20 km od Karlových Varů a 7 km od hraničního přechodu Boží Dar.

Rozloha Jáchymova odpovídá 5080 ha a nadmořská výška území se pohybuje v rozmezí 560 – 750 m.n.m.

Na zdejší území žilo ke dni 31.12.2007 podle ČSÚ 3255 obyvatel.

### 2.2 Historie území

Město Jáchymov bylo založeno hrabětem Štěpánem Šlikem roku 1516 u stříbrorudných dolů na místě dřívější osady Konradsgrün. Osada byla později v roce 1520 povýšena králem Ludvíkem I. na svobodné horní město. Stříbro se zde těžilo od roku 1512 a používalo se na výrobu českých tolarů. Rozvoj hornických prací v jáchymovském rudním revíru probíhal po celé 16. století. V polovině 16. stol. byl Jáchymov povýšen Ferdinandem I. na královské horní město (Veselý, 1986).

Toto město velmi rychle vzrůstalo díky těžbě stříbra až do roku 1547. Potom nastal pomalý úpadek dolů pro jejich částečné vyčerpání a velikou zahraniční konkurenci (Wallenfelsová a Vylita, 1963).

Od 18. a 19. století začíná nový rozvoj dolů v Jáchymově. Hodně se začal těžit arsen, kobalt, nikl a olovo. V roce 1853 začalo dobývání smolince, ze začátku jako suroviny pro výrobu uranových barev. Teprve v roce 1898 po izolaci radia z jáchymovské rudy začala těžba uranových rud k výrobě radia (Babánek, 1889; Pirchan a Markl, 1930; Kettner, 1955).

Město Jáchymov je známé výskytem hydrotermálních rudních ložisek. Radioaktivita byla objevena M. Curieovou, která oddělila radium ze zpracované uranové rudy z jáchymovských dolů. Teplé vody byly naraženy podzemním dolováním v 2. polovině 19. stol. (1863). Teprve až v roce 1905 se zjistilo, že voda je radioaktivní. Doly jsou dnes vyčerpané a zavřené.

Otevřená je pouze nejhlubší šachta Svornost kvůli stálému záchytu teplé radioaktivní vody ve 12. patře dolu. Voda se používá pro balneoterapeutické účely v místních lázních. Ostatní sousedící šachty jsou zaplaveny podzemní vodou. K ochraně šachty Svornost před zaplavením byly v chodbách dolu, které komunikují s vedlejšími doly, postaveny betonové vodotěsné přehrady. Projekt zdí vyžadoval důkladný geologický a hydrogeologický průzkum.



Výsledky průzkumu objasnily geologické uspořádání a geochemické chování lokální podzemní vody (Pačes 1974).

Léčení začalo v soukromých vanových koupelích (dvě vany v domě číslo 282). Ze začátku byla voda nošena na zádech v putnách a později dovážena vozem. Od roku 1908 byla voda z dolu Rovnost vedena do lázní (Päckert, 1945). Počet pacientů v lázních začal velmi rychle stoupat. V roce 1906 bylo v Jáchymově pouze 30 lázeňských hostů, v roce 1907 - 58 hostů, 1908 - 228 hostů, 1911 - 663, 1922 již 1456 a v roce 1928 - 6508 hostů (Pirchan a Markl, 1930). V lázních se využívá silných radioaktivních pramenů k léčbě nemocí pohybového ústrojí, nervových a cévních onemocnění a poruch látkové výměny. K velmi stinné stránce Jáchymova patřila v 50. letech 20. stol. intenzivní těžba uranové rudy. V této době bylo zneužíváno práce politických vězňů pracujících v dolech často v nelidských podmínkách.

### 2.3 Klimatické podmínky

Podnebí na sledovaném území odpovídá podhorskému klimatu. Průměrná roční teplota je okolo 7 °C, přičemž roční úhrn srážek je cca 500 mm.

### 3. PĚTI-PRVKOVÁ (Ag-Bi-Co-Ni±U) MINERALIZACE

Jáchymovská rudní oblast je charakteristická rudami tzv. 5-prvkové formace, vyskytující se také v obou částech Krušných hor. Tento typ má ekvivalenty i na jiných kontinentech, např. oblasti Great Bear Lake, Cobalt, Zimmer Lake a důl Karuisawa.

Ve výše uvedených ložiscích se 5-prvková asociace skládá ze 2 nezávislých fází mineralizace (Ag-Bi-Co-Ni-As formace a U formace) s ohledem na různé zdroje rudonosných fluid – jmenovitě uranových a arsenidových stadií. Tyto formace jsou charakteristické superpozicí minerálů a komplikovanou remobilizací prvků.

Hydrotermální žíly jsou charakterizovány jako nízcí až středně teplotní. Tento fakt vyplývá ze studií fluidních inkluzí, podmínek vzniku minerálního složení a publikovaných dat (Ondruš et al., 2003).

### 4. GEOLOGICKÉ POMĚRY

#### 4.1 Geologie

Dolování ve velkém měřítku poskytlo rozsáhlé a detailní informace o geologii této oblasti (Kettner, 1915; Auer, 1927). Geologické rysy regionu představují granitový masiv překrytý metamorfními horninami. Hlavní tektonickou strukturou je zde V–Z antiforma Klínovec s vrásovou komplikovanou stavbou. Zdrojové horniny byly původně psamitické a pelitické sedimenty pravděpodobně kambrického stáří s vložkami karbonátových hornin. Nejběžnější metamorfní horninou je biotit–muskovitický svor s příměsí pyritu a grafitu. Svorový komplex zahrnuje čočky, vložky vápenců, silicifikovaných vápenců a skarnů. Tyto horniny byly později narušeny intruzí svrchno-karbonských granitů rozsáhlého Krušnohorského plutonu. Granity jsou obnaženy na povrchu v oblasti JZ elevace zlomových zón Bludná a Pernink a v malých izolovaných greisenizovaných masivech. Komplex žilných hornin, zahrnující granitové porfyry, porfyrity, aplity, pegmatity a lamprofyry spojených s plutonem, vystupuje taktéž na povrchu. Terciární magmatické horniny, spadající do oligocén–miocénní neovulkanické fáze Českého masivu, zahrnují alkalické bazalty, tufy, vulkanické brekcie a v malém množství trachyty (Ondruš et al., 2003; Pačes, 1974).

Pod sledem metamorfitů leží granitické horniny, které jsou SV prodloužením Karlovarského masivu. Hlavními horninami masivu jsou autometamorfované granity a porfyry karbonského

až permského stáří (Pačes, 1974). Horniny mohou být zdrojem rozpuštěných látek v podzemní vodě, shrnuty jsou v tabulce č. 1.

Tab. 1 Chemická analýza typických hornin v Jáchymovské oblasti v hm. % (Sattran, 1961)

Hornina	Granit	Svor	Skarn
Lokalita	Svornost	Svornost	Svornost
SiO <sub>2</sub>	73.55	60.85	47.02
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.81	0.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.79	20.10	12.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.79	2.17	1.25
FeO	0.94	5.40	1.47
MnO	0.04	0.05	0.32
MgO	0.50	2.55	8.17
CaO	0.42	0.46	17.63
Na <sub>2</sub> O	4.02	0.33	0.66
K <sub>2</sub> O	2.58	2.27	3.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22	0.07	0.18
CO <sub>2</sub>			6.97
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.07	0.30	
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>			
S	0.14	1.25	0.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.03	
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.11	
Rezidua	0.42	3.13	
Celkem	99.47	99.65	100.27

#### 4.1.1 Metamorfované horniny

Metamorfované horniny v oblasti reprezentují plášť svrchnokarbonského granitového plutonu, který dosahuje k povrchu pouze v jižním okraji oblasti, blízko Mariánské. Nicméně podpovrchové rozšíření granitů bylo dokumentováno vrty a podzemními pracemi v relativně malých hloubkách pod celým rudním ložiskem. Nízce až středně metamorfované horniny jsou reprezentovány hlavně svory a fylity (Laboutka a Pačes, 1966). Strukturně nižší partie obsahují svory, slídnaté ruly pravděpodobně proterozoického a kambrického stáří.

Nejrozšířenějšími horninami jsou dvojslídné a biotitické svory s omezeným výskytem grafitu, granátu, pyritu, dále s menšími vložkami vápenato–silikátových rul, erlanů, amfibolitů, kvarcitů a ortorul.

V odborném článku Petra Ondruše, který čerpá z vědecké práce Jiřího Konopáska, lze z petrologických studií vyčíst komplikovanou historii metamorfního vývoje. Zvýšené tlaky působící v minulosti jsou prokázány reliktů kyanitu v muskovit–granátickém svoru (Ondruš et al., 2003).

#### 4.1.2 Granitové plutony

Postmetamorfní variské granitoidy v centrální části Krušných hor jsou reprezentovány především Karlovarským plutonem. Jedná se o kompozičně nehomogenní těleso čočkovitého nebo jazykovitého tvaru o šířce 25 km, s vertikálním rozsahem 10 – 12 km. V období 332 – 323 milionů let před n. l. proběhla řada intruzí s dominantní granitoidní komponentou.

Objemově převažuje středně zrnitý porfyrický biotitický granit typu B se zvýšenými obsahy thoria a uranu ( $Th > U$ ). Mladší magmatický komplex zahrnuje nejvíce leukokráttní granity ( $U > Th$ ) se zvýšenými obsahy Nb, Sn a Be. Nejsvrchnější partie těchto granitových jednotek jsou často postižené greisenizací a nesou Sn mineralizaci, akcesorický topaz, fluorit a lithné slídy. Zóny bohaté na biotit (široké až 10 cm) se vyskytují na kontaktu granitu s břidlicemi. Leukokráttní mladší granit obsahuje často fluorit, bor a lithium ovlivňující frakci taveniny. (Ondruš et al., 2003).

### 4.1.3 Skarny

Jedná se o ložiska vznikající metasomatózou vápenatých sedimentů alterovaných na mramory nebo transformací alteračních produktů syn-sedimentárního vulkanismu. Železné rudy byly v minulosti těženy na několika ložiscích skarnového typu. Skarny jsou složeny hlavně z Ca – granátů (andradit–grosulárové série), Fe–amfibolitů, hedenbergitu, epidotu a magnetitu. Vyskytují se především ve velkých blocích nebo ve stropních přívěscích uzavřených ve starším biotitickém granitu nebo v čočkovitých tělesech v břidlicích (v obalu granitu). Některé skarny nesou také sfalerit, chalkopyrit, výjimečně i cín, který je kromě kasiteritu vázán do borátu hulsitu na ložisku Zlatý Kopec blízko Božího Daru. Tento typ ložiska v jáchymovském rudním revíru je: (i) magnetitového typu spojeného s amfibolovými horninami (metabazity) ve svorech (důl Antonín) nebo (ii) sulfidového typu se sfaleritem, chalkopyritem, pyritem, magnetitem, kasiteritem a Fe–chlority (důl Plavno). Později objevený grosulár–wollastonitový skarn (tactit) byl vytvořen působením kontaktní metamorfózy karbonátových hornin variským granitem, zatímco komplex Fe–bohatých a částečně sulfidických skarnů často nese polygenetické minerální složení. Rekrystalizace pyritu byla pozorována v grafitem bohatých břidlicích (do 6% C) blízko dolu Adam (Ondruš et al., 2003).

### 4.2 Tektonika

V granitovém masivu i v metamorfovaném komplexu převládají SZ–JV a V–Z strukturní směry. Směr perkolace (prosakování) podzemní vody předpokládá otevřené zlomy v granitovém masivu směřující S–J. Jáchymovský důlní prostor je omezen V–Z zlomy (“Severní zóna“), které se rozkládají 1 km severně a JV–SZ zlomy (“Centrální zóna“) procházející 2,4 km jižně od šachty Svornost (Pačes, 1974). Kontakt mezi metamorfovaným komplexem a granitovým masivem se noří v důlní oblasti do hloubky 670 m pod zemským povrchem. Na severu přechází do hloubky 90 – 300 m, na jihu granit vychází na povrch.

### 4.3 Křehká bloková tektonika

Během terciéru prodělal platformní povrch tehdejšího regionu Krušných hor deformaci způsobenou alpínskou orogenezí a následnou dezintegrací vyzdvižené domény podél starších zlomových zón. Pokleslá zóna oherského riftu se stala místem akumulace sedimentárních a

vulkanických hornin o mocnosti přesahující 400 m, zatímco vyzdvižená část Krušných hor podléhala silné erozi. Pokračující elevace této části během kvartéru je odhadována na 250 až 300 m (Ondruš et al., 2003).

#### 4.4 Zlomová tektonika

Po intruzi Krušnohorského plutonu byl region porušen SZ–JV zlomy, následné pohyby jsou způsobeny rozdíly v podpovrchovém umístění svrchních částí plutonu v jednotlivých zlomových blocích. Hlavní zlomy můžeme rozdělit na: (i) skupinu paralelní s osou Krušných hor (SV–JZ), (ii) skupinu směřující SZ–JV. Krušnohorský zlom (SV–JZ) je 150 km dlouhý, zanořuje se JV pod úhlem  $80^\circ$  a prochází přes Krásný Les – Horní Žďár – Hluboká. Zlomová zóna je až 300 m široká, vyplněna mylonitovým jílem s obsahem železa. V Jáchymovské rudní oblasti mají hlavní roli SZ–JV zlomy, s nimiž jsou spjaty horizontální (maximálně 600 m) a vertikální pohyby (150–400 m), zahrnující zlomy jižní, centrální, Panorama, Plavno a severní. Výplň zlomových zón zahrnuje porušené horniny na kataklasty, které jsou silicifikovány a obohaceny hematitem. Protínají Krušnohorskou zlomovou zónu a jsou nasyceny podzemní vodou. Úzké zlomy směřují V–Z směrem, jsou vyplněny mylonitem, křemenem, dolomitem, sideritem, sulfidy, arsenidy a ryzími kovy (Ondruš et al., 2003).

Ve svrchních částech SZ a Z žil, protínajících metamorfovaný komplex, se vyskytují arsenidy Co, arsenidy Ni, ryzí stříbro, arzen, bismut, sulfidy – pyrit, galenit, sfalerit, chalkopyrit, minerály stříbra. Nejběžnější žilovinou je dolomit, kalcit a křemen. Ve spodních částech obzvláště v granitu, ubývá karbonátů a objevuje se uraninit. Žilné minerály jsou možným zdrojem radioaktivních prvků (Mrňa a Pavlů, 1963 a,b).

## 5. HYDROTERMÁLNÍ ŽILNÝ SYSTÉM

Několik stovek rudních žil a „odnoží“ se větví z hlavní zlomové zóny jako dislokace nebo komplikované odnože (Ondruš et al., 2003). Od minulých století se žíly dělí na:

1. Jitřní žíly: horizontální (V–Z), slabě mineralizované nebo sterilní žíly
2. Půlnoční žíly: vertikální (nejběžnější S–J, dále SZ–JV a vzácně SV–JZ směr), nejbohatší rudní žíly

### 5.1 Jitřní žíly

Jitřní žíly jsou uloženy podél V–Z zlomových zón a jejich odnoží se směrem 30°–330°, dosahují délky až 2 km o mocnosti 2,5 m, stejně jako úzké mineralizované trhliny dlouhé 150–300 m. Mezi nejvýznamnější z nich patří: Schindler, Geier, Andreas, Küh, Dorothea, Eliáš, Georg a další. Tyto žíly jsou starší než půlnoční, zůstaly uzavřeny během významných epizod mineralizace. Výplň žil je symetrická, vyskytuje se také inverzní bilaterální symetrie, která je charakteristická pro dlouhé části žil. Rudní složka je zastoupena pravidelně v celém rozsahu žíly, ale zároveň je často redukována na tenké odžilky a malé shluky. Jitřní žíly ve směru V–Z jsou slabě mineralizované nebo obsahují hluché partie ve zlomových zónách paralelních s foliací okolních svorů. Zlomy jsou vyplněny mylonitovým jílem nebo brekciovitými fragmenty hornin se sporadickou pyritovou nebo chalkopyritovou složkou. Ag–Bi–Co–Ni±U mineralizace se objevuje jen v blízkosti střetu s půlnočními žílami. Zrudnění bylo zaznamenáno jen v partiích sousedících s významnými zlomovými zónami, přednostně se ukládá do měkkého materiálu V–Z zlomových zón a štol (Ondruš et al., 2003).

### 5.2 Půlnoční žíly

Tyto žíly vykazují méně pravidelný S–J směr, reprezentují nejvýznamnější mineralizaci v Jáchymově. Nabývají častých změn v jejich směru, úklonu, mocnosti a mají tendenci se štěpit na odnože. Některé z nich jsou zakřivené a následně může dojít ke spojení s hlavní žílou v určité vzdálenosti. Vybrané odnože mohou vykazovat strmější úklon a nejbohatší rudní koncentrace se nachází na kontaktech s hlavní žílou.

Půlnoční žíly s uranovou mineralizací byly rozděleny do šesti rudních žilných shluků, tento celý sled se nazývá jáchymovské ložisko: Barbora – Eva, Rovnost I, Svornost, Panorama, Bratrství a Plavno. Svornost, Plavno, Panorama a Popov jsou menší ložiska přispívající méně než 15% k celkové produkci uranu (Ondruš et al., 2003).

V dalším článku Petra Ondruše se dočteme o možných varietách v mocnosti (několik cm až m, průměrná šířka 10–30 cm) a nepravidelném rozšíření těchto žil v jáchymovské oblasti. Největší výskyt mineralizace je ve svorech a ubývá v granitu Karlovarského plutonu. Výjimkou je např. žíla Geschieber (viz popis níže).

## **6. HYDROLOGIE A GEOCHEMIE RADIOAKTIVNÍCH PRAMENŮ V JÁCHYMOVSKÉ OBLASTI**

Radioaktivní prameny v Jáchymově pocházejí z cirkulace meteorické vody, sestupující podél zlomových a trhlinových zón hluboko do metamorfního komplexu a podložního granitového plutonu. Kapacita pro rozpuštění minerálních solí a plynů je významně zvýšena díky zvýšené teplotě v doménách hluboké cirkulace. Rudní žíly, žilné shluky, často s frakturami a nepravidelnými dutinami slouží zčásti pro hlubokou cirkulaci vody, která se obohacuje o radioaktivní prvky. Frakturované domény okolo rudních žil také slouží jako kanály pro plyny (včetně radonu a helia), které migrují na značné vzdálenosti (Laboutka, 1962; Wallenfelsová a Vylita, 1963).

Režim podzemní vody v krystalinických horninách bližší jáchymovské oblasti byl ovlivněn dolováním minerálních ložisek. Dolování v metamorfovaném plášti narušilo podpovrchovou vodní cirkulaci, která byla v globálu jednoduchá. „Trhlinová“ voda začala stoupat a vnikat do důlních děl. Po odčerpání těchto vod z granitového podloží byl systém trhlin, který neměl žádné hydraulické spojení s okolím odvodněn a tím byla vyvolána cirkulace teplejší podzemní vody z hlubších horizontů a stabilizace dnešních hydrogeologických podmínek. Celková diskontinuita vod z krystalinického pláště a granitového podloží hydraulicky a hydrochemicky indikují, že metamorfovaný plášť tvoří těsnící vrstvu nad granitoidním systémem trhlin. Pouze na několika místech, kde S–J hydrogeologické struktury procházejí z granitového podloží do pláště, vody z granitového podloží vystupují do metamorfovaného komplexu. To způsobuje přímý kontakt dvou rozdílných hydrogeologických prostředí, prostředí metamorfovaného pláště reprezentovaného sestupující větví a prostředí granitového podloží reprezentovaného vzestupující větví cirkulace. Vrtným průzkumem byl získán největší zdroj minerální vody se současným průtokem 571,4 l/min, teplotou 29–30 °C a radonovou emanací  $3500 \times 10^{-10}$  Curie (12,95 kBq/l), který potvrdil předpoklady o dalším možném rozšíření zásob vody (Laboutka a Pačes, 1966).

Z hydrochemického hlediska byly v jáchymovské oblasti ustaveny následující tři typy vod:

- 1) Na-HCO<sub>3</sub> typ s úplně rozpuštěnou pevnou složkou cca 0,7 g/l v granitovém podloží



2) Ca-SO<sub>4</sub> typ s úplně rozpuštěnou pevnou složkou cca 0,2 – 3,0 g/l v metamorfovaném plášti

3) Nejasný typ s lehkou převahou Ca<sup>2+</sup> a SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iontů, charakteristický rozpuštěnou pevnou složkou menší než 0,2 g/l v povrchových částech granitoidů a metamorfitů

Radonová emanace povrchových vod se pohybuje v rozmezí  $5,5 \times 10^{-10}$  až  $1,3 \times 10^{-8}$  Curie (0,02 – 0,48 kBq/l), radonová emanace žilných struktur na 12. patře dosahuje hodnot až  $4,4 \times 10^{-7}$  Curie = 16,3 kBq/l (Laboutka a Pačes, 1966).

V současné době je cirkulace vody značně narušena lidskou aktivitou. Tlakové testy prokázaly nepropustnost Z–V struktur. Z tohoto důvodu byly postaveny ochranné hráze na chodbách dolu Svornost a důlní díla za nimi byla zaplavena. Na základě tehdejších znalostí se mohlo prohlásit, že zaplavení sousedních důlních děl nebude mít žádný negativní vliv na cirkulaci a chemické složení radioaktivních termálních vod. Na druhou stranu mohlo být očekáváno zvýšení průtoku dynamických vodních zásob v granitovém podloží. Cirkulace termální vody je dostatečně odolná, aby bylo možné testování neekonomičtějších zachytávacích metod (Laboutka a Pačes, 1966).

Dnes jsou na dole Svornost zachycené čtyři prameny pro lázeňské účely:

(i) pramen Běhounek – vydatnost 300 l/min, teplota 32 °C, obsah radonu 10 kBq/l

(ii) pramen Curie – tento pramen byl zjištěn v roce 1864 při hloubení šachty Svornost na průsečnici žilných struktur Geschieber a Fundgrübner (na kótě 223,14 m n.m.)

Jeho vydatnost byla 400,0 l/min, teplota 22,5 °C.

Teprve v roce 1924 byl zachycen a lázeňsky využíván. Jeho teplota byla 28°C, vydatnost 120,0 l/min a Rn = 6,03 kBq/l (Pěček, 1983).

Dnes má vydatnost 30 l/min, teplotu 29 °C a obsah radonu odpovídá 5 kBq/l (díky své „nižší“ aktivitě není veden do lázní, slouží pouze pro zavodňování čerpadel aktivního řádu).

(iii) pramen Agricola – vydatnost 10 l/min, teplota 29 °C, obsah radonu 20 kBq/l

(iiii) pramen C-1 – vydatnost 30 l/min, teplota 29 °C, obsah radonu 11 kBq/l

Prameny Becken a Becquerel již zanikly.

Prameny Curie, C-1 a HG–1 jsou velmi měkké vody slabě alkalického typu s mineralizací 600–700 mg/l. Dominantní ionty v podzemní vodě jsou Na<sup>+</sup> a HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Krejbichová, 1994).

Rovnovážný tlak CO<sub>2</sub> ve vodě z granitu vypočítaný z informací o pH, alkalitě, iontové síle a teplotě je  $8,2 \times 10^{-2}$  atm. To je více než P<sub>CO2</sub> v zemské atmosféře ( $3 \times 10^{-4}$  atm) nebo v mělkých podpovrchových pramenech ( $1 \times 10^{-3}$  až  $3 \times 10^{-2}$  atm) (Pačes, 1974).

## **7. PRAMENY NA OSTATNÍCH STRUKTURÁCH (mimo žíly Geschieber)**

### **7.1 Štěpovy prameny**

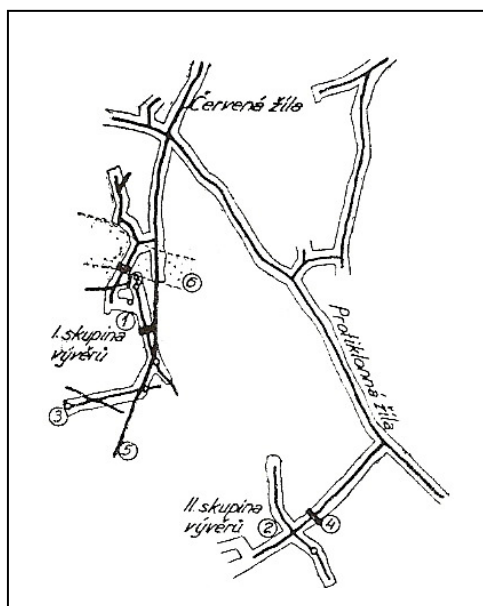
Vídenští fyzikové v roce 1905 objevili, že voda vyvěrající na patře Daniel dolu Rovnost I (dříve Werner) má pozoruhodnou aktivitu 33-185 M.j. (0,45 - 2,5 kBq/l). Český důlní inženýr Štěp zanedlouho zjistil na tomto dole dvě skupiny pramenů. Vystupovaly asi 1,5 km Z od dnes zachyceného pramene Curie. Na Červenou žílu (Roter Gang) a Radiovou žílu (Radium Gang) v blízkosti čedičové žíly je vázána první skupina vývěrů. Druhá skupina leží na jihovýchodě nedaleko Protiklonné žíly (Protisměrné žíly – „Widersinniger Gang“). Voda byla u každé skupiny zachycena zděnými hrázemi a odtud byla odváděna dlouhým potrubím do lázní. Wallenfelsová s Vylitou se v roce 1963 domnívali, že Štěpovy prameny získávaly svoji vydatnost v žulovém masivu. Prameny vystupovaly po žilách, kde docházelo k mísení s vodou svorového komplexu. Voda se ochlazovala a zvyšovala se její aktivita.

První skupina vývěrů měla nízkou mineralizaci (cca 200 mg/kg). Teplota vody se pohybovala kolem 10,5 °C. Vydatnost všech vývěrů byla jen 1,5 – 2,4 l/min a výsledná aktivita 360 M.j. (4,9 kBq/l). Druhá skupina vývěrů měla vydatnost 10,2 – 12,6 l/min a výslednou aktivitu 12 – 62 M.j. (0,16 – 0,84 kBq/l) (Wallenfelsová a Vylita, 1963).

Nejvyšší radioaktivitu ze všech jáchymovských pramenů však zjistil Běhounek (1937) v případě Štěpova pramene č. 1, a to 5080 M.j. (68,4 kBq/l).

Tyto prameny sloužily až do roku 1924 jako jediný zdroj radioaktivní vody. Poté začal být využíván pramen Curie. Vydatnost vývěrů klesala až do roku 1945, kdy Štěpovy prameny definitivně zanikly (Wallenfelsová a Vylita, 1963).

Podle vzpomínek politických vězňů byly na Červené žíle prováděny intenzivní dobývací práce. V padesátých letech byly také tyto práce prováděny v místech vývěru Štěpových pramenů (ty jejich důsledkem zanikly). Přitom však bylo zjištěno, že v prostoru za jímacími hrázemi byla nahromaděna uranová ruda a voda Štěpových pramenů byla zřejmě tímto způsobem aktivována uměle (Pěček 2005, úst. sděl.)



Obr. 1 Zachycení Štěpových pramenů na dole Rovnost I – dříve Werner (Wallenfelsová a Vylita, 1963)

1. skupina vývěrů, zachycená jímkou I.; 2. skupina vývěrů, zachycená jímkou II.; 3. vývěry minerální vody; 4. betonové hráze; 5. průběh žil; 6. tufitické těleso „Putzenwacke“

## 7.2 Prameny Hildebrandovy

Tyto prameny byly zachycené v roce 1926 na žíle Hildebrand. Vydatnost pramenů byla 20,0 l/min, teplota vody 25,5 °C a jejich aktivita 302 M.j. (4,1 kBq/l) (Wallenfelsová a Vylita, 1963).

## 7.3 Pramen Becquerel

Tento pramen byl zjištěn v roce 1928 na 12. patře dolu Svornost. Nachází se 540 m jihozápadně od pramene Curie. Pramen Becquerel byl zachycen mezi žíly Häuerzechner a Jan Evangelista na jejím odžilku. Teplota vody tohoto pramene byla 23,8 °C, jeho vydatnost 160,0 l/min a radioaktivita 114 M.j. (1,5 kBq/l). Vydatnost pramene se ještě zvětšila na 175 l/min. Voda z tohoto pramene byla také čerpána a vedena do lázní (Wallenfelsová a Vylita, 1963).

## 7.4 Pramen Evangelista

Tento pramen byl vyhlouben v roce 1952 východně od pramene Curie. Průměrná vydatnost byla 33,0 l/min, teplota 28 °C a aktivita v rozmezí 40 – 160 M.j. (0,5 – 2,2 kBq/l). Vrt je na odžilku Jana Evangelisty. I tento zdroj byl využíván pro lázeňské účely (Wallenfelsová a Vylita, 1963).

## 7.5 Pramen Prokop

Ve stejném roce jako pramen Evangelista byl vyhlouben ještě další vrt tentokrát na žíle Prokop. Vydatnost tohoto pramene byla velmi nízká cca 4 l/min a aktivita 123 – 261 M.j. (1,7 – 3,5 kBq/l). Roku 1960 byla vydatnost pramene již 6 l/min (Wallenfelsová a Vylita, 1963).

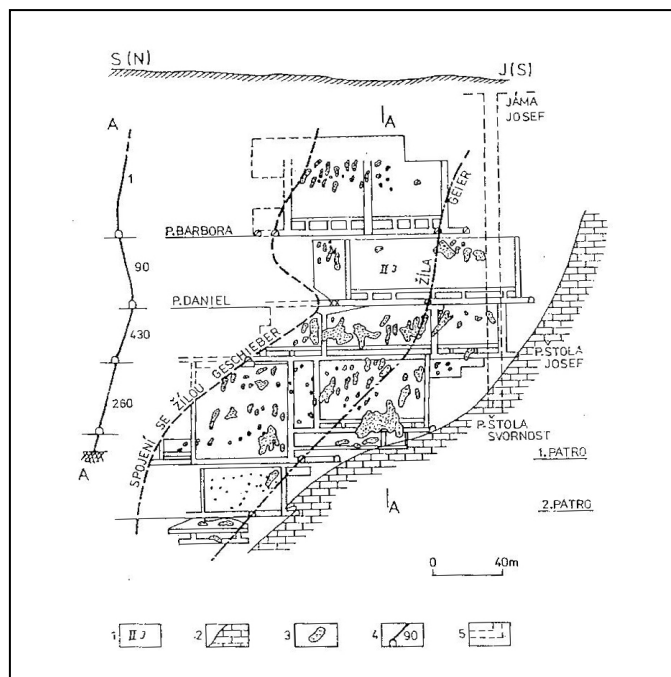
# 8. ŽILNÁ STRUKTURA GESCHIEBER

Na 12. patře dolu Svornost vytéká radioaktivní voda, která tvoří vlastní systém pramenů. Hlavní linie pramenů byla založena na žíle Geschieber. Podél této linie vystupuje 79 % všech vod z granitového podloží. Cirkulace radioaktivní termální vody je úzce spojena s tímto systémem trhlin granitového podloží a není ovlivněna „trhlinovou“ vodou ze sestupující větve. Žíla Geschieber patří do prvního řádu severojižních žilných struktur. Na této žilné struktuře byly například navrtané prameny Curie, C-1, Běhounek, Agricola. Na struktuře Geschieber jsou zjištěny nejvyšší tlaky až 20 atm = 2,03 MPa (Laboutka a Pačes, 1966).

Tato žíla slouží především k hydrologickému průzkumu. Spolu se žílou Klement, Hildebrand a Becken tvoří menší žilník, který se vyvinul hlavně na 12. patře. Tento žilník je překřížený žílou Fundgrübner, která je ukloněná 70° ale i 45° k Z (Zeman, 1995).

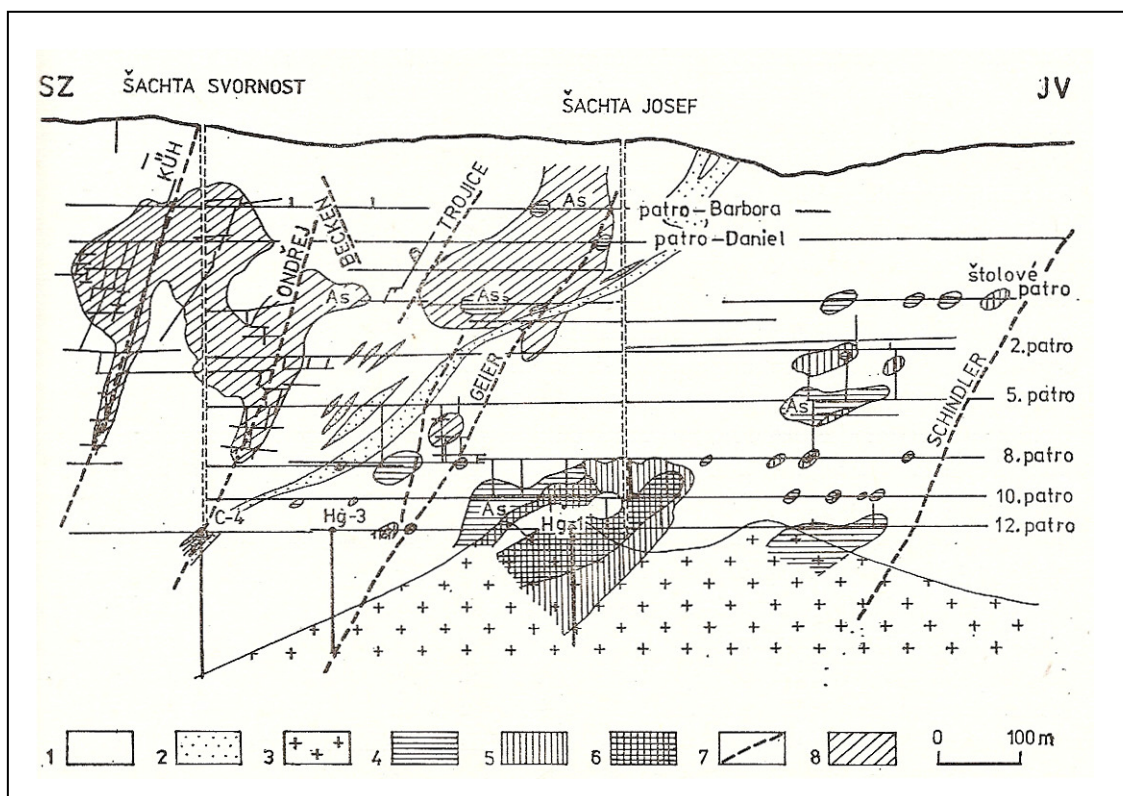
Výplň této žíly tvoří hlavně karbonáty, křemen, drcená okolní hornina a tektonický jíł. Dále je tvořena rudními minerály především Ni-Co-Bi-As-Ag rudy. Žíla Geschieber je druhou z hlavních mineralizovaných dislokací důlního pole. Má směr 330° s úklonem 70° - 85° k Z i V a prochází napříč celým důlním polem. Její mocnost někde nabývá až 2 m a dosahuje délky 1,7 km. Tato hlavní žíla se rozděluje na řadu odžilků. Nejvýznamnější a jeden z nejrudnějších byl 4. odžilek žíly Geschieber. Ve střední části důlního pole mezi žíly Svatá Trojice a Geier se odpojuje od hlavní žíly. Tento odžilek má směr 325° - 360° a úklon 60° k Z do 75° k V. Jeho mocnost je proměnlivá od 2 cm do 20 cm (průměr 5 - 9 cm), celková délka od 100 do 150 m. Výplň 4. odžilků tvoří růžový dolomit. Flexurách žíly se zvětšuje obsah tektonického

jílu a ubývá karbonátů. Vyskytuje se zde také uraninit a na jihu se objevuje pásmo erlanů, obr. 2 (Veselý, 1986).

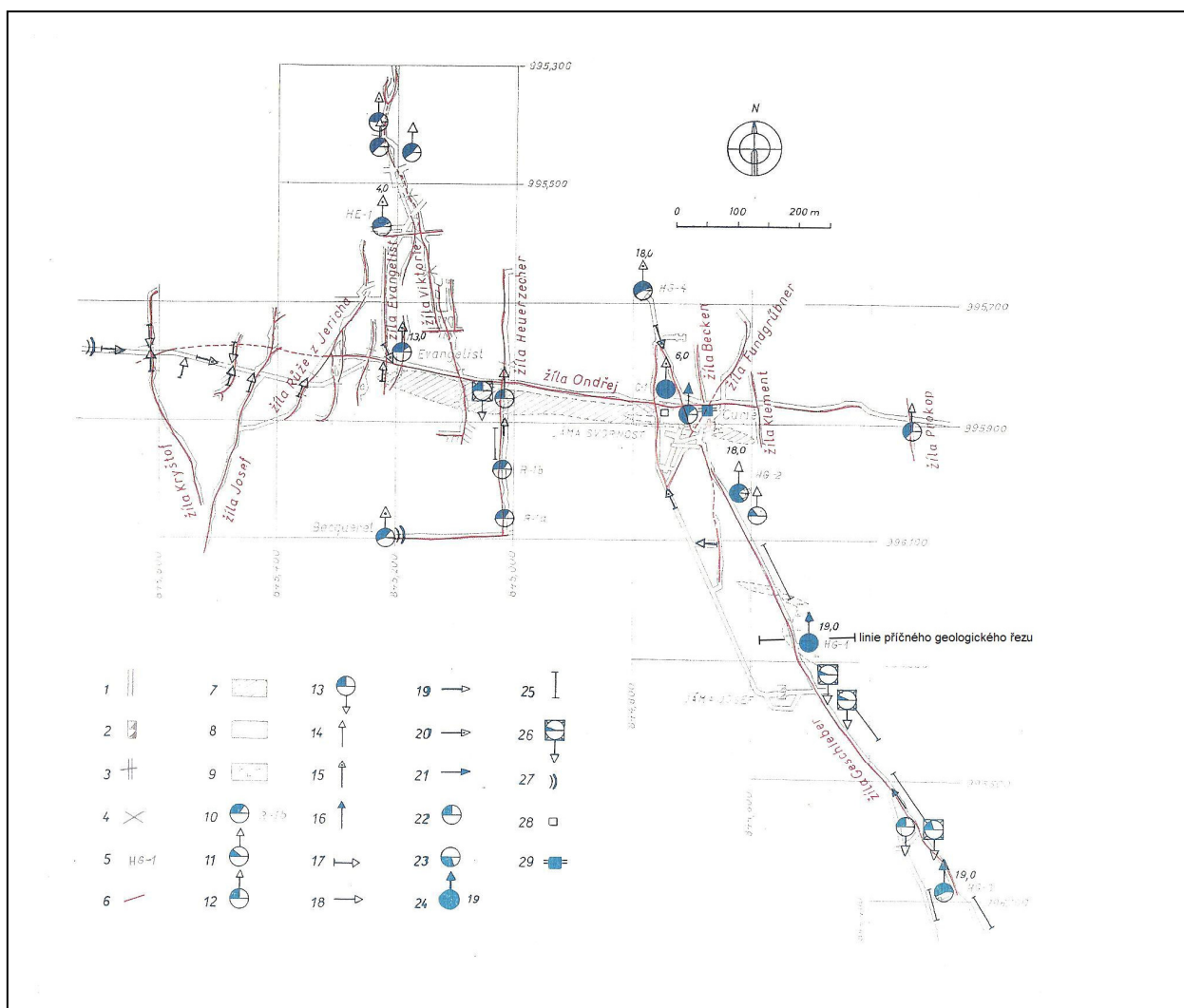


Obr. 2 Schematický vertikální průřez 4. odžilkou žíly Geschieber žilného uzlu Svornost (Macourka a Veselý, 1962)

1 – druhý horizont jáchymovského souvrství; 2 – erlany; 3 – uranové zrudnění; 4 – poměrové číslo produktivity žilné plochy v místě řezu; 5 – důlní díla mimo rovinu řezu



Obr. 3 Podélný řez rudní žilou Geschieber v Jáchymově (podle Chrta a Bolduana, 1966)  
 1 – svory; 2 – erlany; 3 – biotitický a dvojslídny granit; 4 – zrudnění Ag; 5 – zrudnění Co-Ni;  
 částečně Bi; 6 – zrudnění Co-Ni-Ag, částečně Bi; 7 – dislokace směru V-Z; 8 – vydobyté části  
 žíly



Obr. 4 Mapa hydrogeologických údajů na 12. patře šachty Svornost (Laboutka a Pačes, 1966)  
1 – chodba; 2 – těžní jáma; 3 – zeď; 4 – zával; 5 – číslo dokumentačního bodu; názvy důlních děl; 6 – žilné struktury; 7 – erlany, amfibolity; 8 – svory a svorové ruly; 9 – žula krušnohorská; 10 – vrt; 11 – výron u žilné struktury; 12 – voda vzestupné větve oběhu; 13 – voda sestupné větve oběhu; 14 – vydatnost zdroje 10,0 l/min; 15 – vydatnost zdroje 10,0 – 100,0 l/min; 16 – vydatnost zdroje 100,0 – 1000,0 l/min; 17 – stálá měrná stanice s vyznačením průtočného množství a směru proudění vody ve stružce; 18 – měření průtočného množství s vyznačením směru proudění vody ve stružce; 19 – průtočné množství 10,0 l/min; 20 – průtočné množství 10,0 – 100,0 l/min; 21 – průtočné množství 100,0 – 1000,0 l/min; 22 – teplota zdroje v °C (1 °C ... 10<sup>8</sup>); 23 – obsah radonu v emanech (1 eman ... 6,6<sup>8</sup>); 24 – tlak zdroje v atm; 25 – pramenní linie; 26 – výtok z komínu s měřením vydatnosti a obsahu radonu; 27 – hráz; 28 – ponor; 29 – čerpací stanice

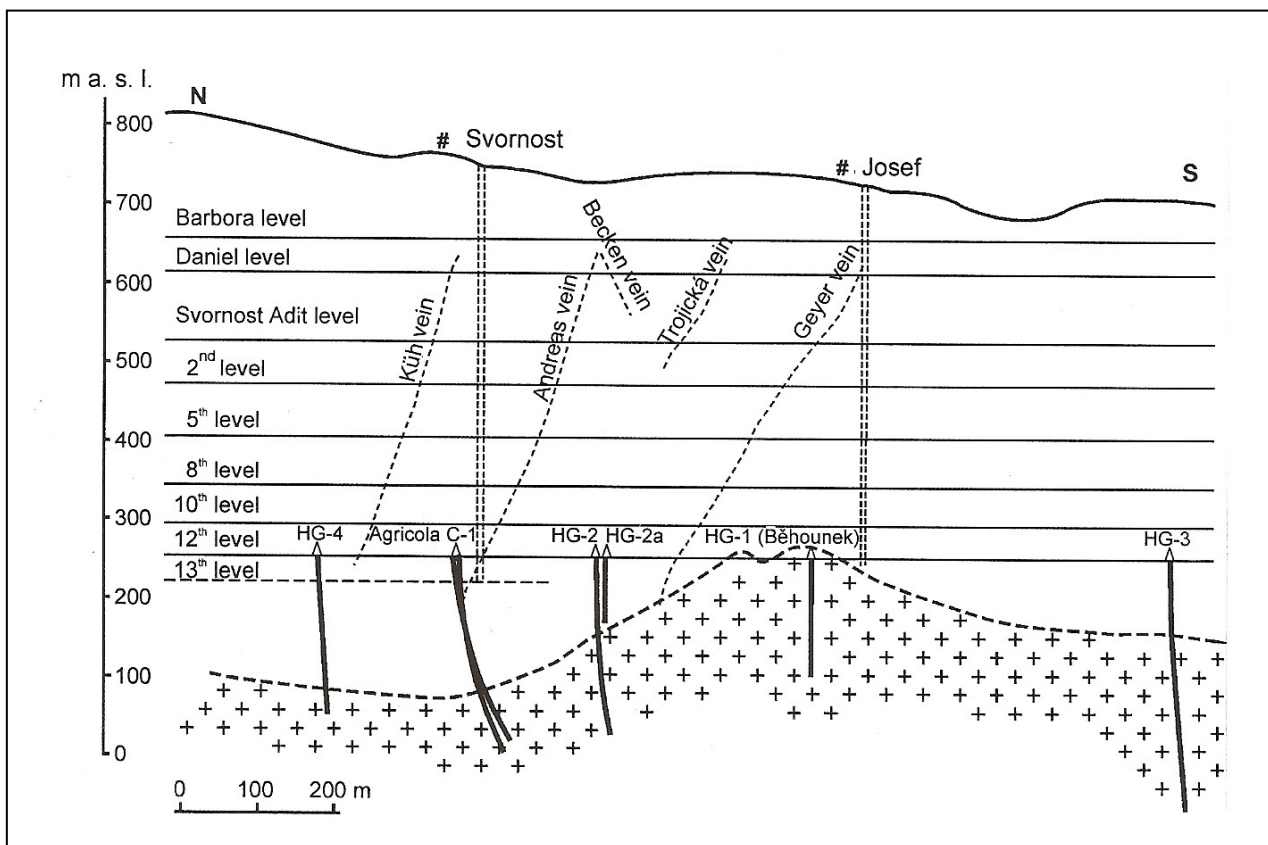
## 9. VRT HG-1

V roce 1962 byl vyhlouben z vrtné komory vyražené v elevaci granitového plutonu na 12. patře dolu Svornost do hloubky 152,7 m vrt HG-1. Tímto vrtem byla zastižena rudohorská žula–středně zrnitá. V hloubce 92 – 107 m byla naražena žíla Geschieber, kde byl již při prvním styku s žilou dne 3. května 1962 zjištěn intenzivní přítok radioaktivní termy (pramen akademika Běhounka), který zajistil dostatečný zdroj vody a je dosud využíván pro lázeňské účely (Laboutka a Pačes 1964, Sysel P., 1972).

Pro zajímavost je možno uvést, že původní vydatnost zdroje HG-1 byla 571,4 l/min při tlaku 19 atm = 1,93 MPa (Laboutka a Pačes, 1966). Tento průtok byl však pro lázeňské účely příliš velký a proto byl seškrcen na zhruba poloviční (300 l/min). Po několika letech byl škrtící kohout opět otevřen, nicméně ke zvýšení průtoku na původní hodnoty nedošlo, voda si zřejmě našla cestu jinde.

V šedesátých a počátkem sedmdesátých let byla průměrná roční objemová aktivita <sup>222</sup>Rn 8,5 kBq/l. V posledních letech je aktivita radonu v tomto vrtu stabilní (<sup>222</sup>Rn 10,5 kBq/l).

Přirozený režim byl ovlivněn nejspíš škrtícími zkouškami a umělou manipulací (Krejbichová, 1994). K možnému kolísání aktivity přírodního zdroje mohlo dojít také díky pulsaci pramenů a vlivem puklinového systému.



Obr. 5 Zjednodušený podélný průřez žíly Geschieber v oblasti šachet Svornost a Josef, s vyznačeným křížením s jitními žilami a průmětem hlavních hydrogeologických vrtů realizovaných z 12. patra (HG-1, HG-2, HG-3, HG-4, Agricola) do podloží granitu (převzato z Odrůše et al. 2003)

### 9.1 Karotáž vrtného jádra HG-1

Při hloubení vrtu nebyla karotáž prováděna, i kdyby tomu tak bylo, hodnoty naměřené gama aktivity by byly zkresleny obsahem gama aktivních produktů radonu rozpuštěného ve vodě.

Ve výzkumných zprávách není hodnocena ani radioaktivita jádra. Tyto údaje však mohou hrát důležitou roli pro vysvětlení geneze radioaktivní akrototermie.



## 9.2 Ve skladu v Lužné u Rakovníka jsou zachované následující metráže vrtu HG-1

62,5 – 64,5

99,6 – 102,6

102,6 – 105,0

105,0 – 107,1

120,5 – 122,5

122,5 – 124,5

124,5 – 126,5

126,5 – 128,5

128,5 – 130,5

130,5 – 132,5

132,5 – 135,5

135,5 – 138,5

138,5 – 141,4

141,4 – 144,4

144,4 – 147,4

147,4 – 150,4

## 9.3 Petrografický popis zachovaných metráží

Podrobná informace i petrografie vrtného profilu v práci Laboutka, Pačes (1964) chybí, je zde uveden pouze vrtný profil a zjednodušený slovní popis. Proto bylo účelné provést nový petrografický popis dochovaných metráží. Pro dokumentaci jádra byly vzorkovnice otevřeny a jádro omyto a navlhčeno smetáčkem.

## 9.4 Nově provedený petrografický popis jádra vrtu HG-1 uloženého v Lužné

**62,5 – 63,2:** granit narůžovělý, středně zrnitý, bez alterace

**63,6 – 64,5:** bazalt (zřejmě přenesen z jiného vrtu!!! – v dokumentaci Laboutka, Pačes (1964) není popisován), bazalt nebyl radiometricky detailně proměřován

**Žíla Geschieber:**

**99,6 – 104,0:** porézní brekciovitá žilovina (červený rohovcový křemen s pyritem a Ni-arsenidy) pokrytá sekundárními arseničnany

**104,1 – 106,0:** alterovaný, kaolinizovaný a silicifikovaný granit, proniky žilek strmých směrů

**106,0 – 106,6:** brekciovitá žilovina, kavernózní, se sulfidy a arsenidy velmi propustná, povlaky sekundárních síranů a arseničnanů

**106,6 – 107,1:** alterovaný a kataklazovaný granit, proniky žilek červeného rohovcového křemene strmých směrů

(v celém intervalu žíly Geschieber jádro půleno)

**120,5 – 122,5:** nealterovaný středně zrnitý granit s vyrostlicemi živců

**122,5 – 124,3:** středně až hrubozrnný granit s vyrostlicemi živců

**124,3 – 128,5:** alterovaný hrubozrnný granit s vyrostlicemi živců, kaolinizovaný, porušený sítí trhlin s výplní drcené horniny a žilek rohovcového křemene, otevřené trhliny

**128,5 – 129,8:** silně alterovaný granit, kaolinizovaný, porušený sítí trhlin, místy živce vyloužené

**129,8 – 134,6:** silně alterovaný granit, kaolinizovaný, porušený sítí trhlin, místy živce vyloužené

**134,6 – 134,8:** na kontaktu obou variet granitu proniky pegmatitů (20 cm), křemen, skoryl

**134,8 – 140,0:** jemnozrnný narůžovělý granit - porušený sítí trhlin s výplní křemene

**140,0 – 143,0:** jemnozrnný narůžovělý granit, bez alterace

**143,0 – 144,0:** porušená zóna s kavernózními žilkami s výplní červeného křemene

**144,0 – 146,0:** hrubozrnný alterovaný granit s porfyrickými vyrostlicemi živců a s kavernózními žilkami s výplní místy křemenem

**146,0 – 146,6:** jemnozrnný narůžovělý granit, neporušený

**146,6 – 150,4:** porfyrický hrubozrnný granit mírně narůžovělý, slabě hydrotermálně alterovaný, místy rozpukaný s výplní jílových minerálů na puklinách

## 9.5 Metodika karotáže vrtného jádra

Pro měření gama aktivity vrtného jádra vrtu HG-1 byl použit přístroj RP11 se scintilační sondou RS107 s citlivostí 3,01 nGy/h/imp/s (odvozena z aktivity uranového standardu na cejchovací základně v Bratkovicích). Intenzita gama záření byla zaznamenávána integrálně na

ručičkovém měřidle s časovou konstantou 2 sekundy v případě vyšších a 8 sekund v případě nižších detekovaných aktivit. Přirozené pozadí na měřicím místě v Lužné bylo 81,3 nGy/h. Nejprve byly bedny s jádry srovnány podle stoupající metráže. Pro vyloučení radiometrického ovlivnění okolními metrážemi byla aktuálně proměřovaná bedna s jádrem vždy vysunuta z řady. Krok měření byl 10 cm v případě materiálu žíly, okolní žula byla měřena intervalem 20 cm.

## 9.6 Výsledky karotáže vrtného jádra

Veškeré naměřené a přepočtené hodnoty dávkového příkonu záření gama jsou uvedeny v příloze 2. Nutno zdůraznit, že použitá geometrie měření (přikládání sondy na povrch jádra při geometrii  $<2\pi$ ) poskytuje v tomto případě pouze relativní hodnoty. V porovnání s reálnými (hypotetickými) hodnotami karotáže ve vrtu v geometrii  $4\pi$  jsou námi naměřené hodnoty podstatně nižší a mají pouze relativní vypovídající hodnotu.

Radioaktivita vrtného profilu je velmi proměnlivá, vysoká proměnlivost je patrná zejména při průchodu žilou Geschieber.

Nejvyšší gama aktivitu vykazuje průchod žilné struktury Geschieber 270,9 – 2438 nGy/h, průměrně 1023,4 nGy/h. V hloubce 99,9 m byla naměřena nejvyšší gama aktivita: 2438 nGy/h. Potom radioaktivita mírně poklesla, ale ještě v hloubce 101,8 m byla aktivita 1926,4 nGy/h a v 102,4 m 1986,6 nGy/h.

Okolní granitoidy vykazují mnohem nižší hodnoty gama záření. Dávkový příkon se pohybuje v rozmezí 111,4 – 204,7 nGy/h, průměrně 144,6 nGy/h. Nejvyšší hodnoty vykazují alterované (kaolinizované a tektonizované) granitoidy z hloubky 127,4 m.

## 9.7 Odběr vzorků vrtného jádra

Podle výsledků gama karotáže bylo z vrtného jádra odebráno devět vzorků na analýzu:

1. vzorek – 62,8 m nealterovaný narůžovělý jemnozrnný až středně zrnitý granit
2. vzorek – 100,0 m žílovina
3. vzorek – 100,4 m žílovina
4. vzorek – 102,9 m žílovina
5. vzorek – 106,6 m žílovina
6. vzorek – 127,4 m hydrotermálně alterovaný hrubozrnný granit, kaolinizované žilce
7. vzorek – 140,0 m středně zrnitý narůžovělý nealterovaný granit

8. vzorek – 147,9 m hrubozrnný (porfyrický) granit se slabou hnízdovitou hematitizací a kaolinizací živců
9. vzorek - SV-1 vzorek odebrán ze zadní části vrtné komory na 12. patře (nealterovaný narůžovělý jemnozrnný granit)



Obr. 6 Fotografie části vrtného jádra (kavernózní žiloviny) z vrtu HG-1

## 9.8 Konstrukce vrtného profilu vrtu HG-1

Podle údajů inklinometrie, geologického popisu (Laboutka, Pačes 1964) a situace žíly na sledné vzhledem k ohlubni vrtu HG-1 na 12. patře dolu Svornost byl konstruován geologický řez vrtem HG-1. Tento geologický profil je orientován ve směru Z-V.

Podle výsledků konstrukce má žíla Geschieber v zastiženém úseku velmi strmý úklon ( $88^\circ$  k severu). Protíná profil vrtu HG-1 v úseku 92 - 107 m, její nepravá mocnost je tedy 15 metrů. Podle konstrukce profilu byla zjištěna pravá mocnost žíly Geschieber, která odpovídá 2,1 m v místě průsečíku vrtem HG-1.

Do vrtného profilu byla vynesena křivka gama karotáže vrtného jádra, na které byly vyznačeny hodnoty jednotlivých maxim naměřeného příkonu záření gama (příloha 1).

## 9.9 Laboratorní gama spektrometrie

Pro stanovení koncentrací přirozených radioizotopů byly měřeny 0.5 l vzorky v Marinelliho geometrii (vzorky hornin) a 60 ml Al misek (vzorku žiloviny) na laboratorním gama – spektrometru DSA 2000 s detektorem 3\*3 inch. NaI(Tl) ve stínění 7 cm Pb + 1 mm Cu se software Genie 2000 v Radiometrické laboratoři ÚGMNZ, UK v Praze, PřF. Obsahy K, U, Th Ra a hmotnostní aktivita  $^{226}\text{Ra}$  byla stanovena maticovým výpočtem za použití standardů IAEA: RGU-1, RGTh-1 a RGK-1.

Výsledky:

Tab. 2 Analýza hornin z vrtu HG-1

hornina	h-62,8m	h-127,4m	h-140,0m	h-147,9m	SV-1
ppm U	27,7	64,7	13,9	33,2	33,8
ppm Th	7,3	15,6	5,7	14,9	6,3
ppm eU (Ra)	18,5	37,4	11,0	23,3	28,7
% K	3,9	4,7	3,9	4,2	3,3
celková aktivita [uR]	26,6	51,5	17,7	34,3	35,7
$^{226}\text{Ra}$ [Bq kg <sup>-1</sup> ]	228,3	462,1	135,6	287,3	354,7
K <sub>em</sub> [%]	5,1	18,4	12,3	5,9	4,1

Tab. 3 Analýza žilovin z vrtu HG-1

Žiloviny	h-100,0m	h-100,4m	h-102,9m	h-106,6m
ppm U	5203	1123	1501	993
ppm eU (Ra)	3690	1909	1718	587
celková aktivita [uR]	3598	1846	1656	626
$^{226}\text{Ra}$ [Bq kg <sup>-1</sup> ]	45567	23578	21219	7250
K <sub>em</sub> [%]	18,1	6,7	9,2	11,9

Analyzované granitoidy mají kolísavé obsahy thoria, draslíku a relativně velmi vysoké obsahy uranu a ekvivalentního radia. Nejvyšší koncentrace U a U(Ra) i koeficient emanace má alterovaný vzorek kaolinizovaného granitu z hloubky 127,4 m, což může hovořit o přínosu radioaktivních prvků při hydrotermálním procesu.

Žiloviny mají extrémně zvýšené obsahy uranu i hmotnostní aktivity  $^{226}\text{Ra}$ , a to v rozmezí 0.06 – 0,37 % eU. Lze říci, že podle obsahů máme co dočinění s uranovou rudou. Její koeficienty

emanace (závislé na porositě) jsou relativně velmi vysoké, nejvyšší  $K_{em}$  má nejaktivnější vzorek z metráže 100,0 m.

## 10. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Výsledky provedené karotáže archivovaného vrtného jádra i výsledky stanovení radionuklidů ve vzorcích metodou laboratorní gama spektrometrie, odebraných z jádra vrtu HG-1 v Lužné u Rakovníka, přinášejí další podnět k pokračování diskuse o vzniku radioaktivní akrototermie v Jáchymově a poskytují i náhled na dlouho diskutovanou genetickou otázku.

Přímo lze odmítnout genetické modely Wooda et al. (2004) a Gainona et al. (2007) vzniku radioaktivních vod mechanismem difuzní iontové výměny, kdy je zdrojem  $^{226}\text{Ra}$  vázané (sorbované) na Fe a Mn hydratované oxidy na puklinách hydrogeologické struktury. Tyto porézní povlaky pak dotují vodu plynným radonem.

Nic z toho nebylo v Jáchymově (na žíle Geschieber) pozorováno, navíc tímto mechanismem vznikají pouze vody s relativně mnohem nižší aktivitou.

Jsou zde i názory bližší, a to od autorů seznámených s konkrétní geologickou stavbou zájmové lokality. Například v roce 1963 Hynie předpokládal, že „radioaktivní teplice si nese svůj obsah radonu ze žulového podkladu“. Tento názor se však opírá pouze o pozorování pramene Curie a pramenů z jiných žil, neboť v době sepisování jeho veledíla (Hynie, 1963) nebyl ještě klíčový vrtný průzkum žíly Geschieber zahájen.

Jako nejpravděpodobnější názor na genezi radioaktivních vod je nutno vyzdvihnout názor Laboutky a Pačese (1966), že „Radioaktivita vod je způsobena stykem vod se smolincovým zrudněním a produkty radioaktivního rozpadu.“

Je možno říci, že jejich názor náš výzkum potvrdil.

Problematická je ovšem přítomnost U-zrudnění v žule. V celém jáchymovském ložisku bylo uranové zrudnění nacházeno pouze v exokontaktu, nikoliv v granitu. (Takový případ byl zaznamenán jen jedinkrát, když bylo nalezeno zrudnění při pokračování jedné z žil uzlu Rovnost i 3 metry od kontaktu (Pluskař úst. sděl.)). To položilo základ dosud nevyřešené otázce geneze a mineralogického charakteru v rámci této neobvyklé akumulace.

## 11. ZÁVĚR

Žilná struktura Geschieber patří do skupiny severojižních (půlnočních) žil na jáchymovském ložisku. Je nejvýznamnější hydrogeologickou strukturou z hlediska výskytu radioaktivních pramenů. Na této žíle byl navrtán v roce 1962 nejdůležitější zdroj radioaktivní vody vrt HG-1 (pramen Běhounek).

Ve skladu hmotné dokumentace ČGS v Lužné u Rakovníka byl studován zachovaný profil části vrtného jádra z tohoto vrtu. Při gama karotáži uchovaného vrtného jádra vrtu HG-1 bylo zjištěno, že největší radioaktivitu vykazuje partie žíly Geschieber (rozmezí 99,6 – 107,1 m). Zde dosahovaly hodnoty dávkového příkonu záření gama až 2438 nGy/h, oproti relativně méně aktivnímu granitovému materiálu okolí s příkonem pouze v rozmezí 111,4 až 204,7 nGy/h.

Podle údajů inklinometrie vnesených do vrtného profilu má žíla Geschieber v úseku zastiženém vrtem HG-1 strmý úklon ( $88^\circ$  k severu) a pravou mocnost okolo 2,1 metru.

Údaje gama karotáže vrtného jádra i výsledky laboratorního stanovení radionuklidů v odebraných vzorcích svědčí o tom, že v zastiženém úseku je na žíle přítomno primární uranové zrudnění (společně s arsenidy) s obsahem až 0,36 % eU (Ra). Koeficienty emanace žiloviny jsou relativně vysoké (až 18 %). Podle charakteru dochovaných vzorků je žilovina velmi porézní (kavernózní) a tudíž propustná pro vodu.

Podle těchto předběžných výsledků lze předpokládat, že k aktivaci vody a vzniku radioaktivní akrototermie dochází průchodem vody přes primární uranové zrudnění, které je soustředěno v úseku žíly Geschieber pod 12. patrem dolu Svornost.



## 12. POUŽITÁ LITERATURA

- Auer, J., 1927. Outline of geological relations and mining in Jáchymov/Joachimsthal. Part I. Horn. Věst. IX, 45, 532-536, Part II. 46, 541-555.
- Babánek, F., 1889. Z Rudohoří. Geologicko-hornický náčrt z okolí Jáchymova, Vesmír, roč. XVIII, 172-174.
- Bernard, H., J., Rösler, J., H., Baumann, L., 1968. Hydrothermal Ore Deposits of the Bohemian Massif. International geological congress XXIII. session, Prague, 26-30.
- Bernard, H., J., Pouba, Z., Čadek, J., Čadková, Z., Havelka, J., Hettler, J., Chrt, J., Klomínský, J., Koutek, J., Legierski, J., Lomozová, V., Morávek, P., Mrázek, P., Mrňa, F., Pertold, Z., Petránek, J., Pokorný, J., Reichmann, F., Rus, V., Sattran, V., Skácel, J., Šmejkal, V., Šorf, F., Tenčík, I., Vaněček, M., 1986. Jáchymov. Rudní ložiska a metalogeneze československé části Českého masívu, Ústř. Úst. Geol., Praha, 320s.
- Běhounek, F., 1937. Radioaktivita československých minerálních vod. Almanach lázní Čsl. rep., část I. Čsl. spol. fysiater., Praha, 33-36.
- Gainon, F., Goldscheider, N., Surbeck, H., 2007. Conceptual model for the origin of high radon in spring waters- the example of the St. Placius spring, Grison, Swiss Alps. Swiss j. geosci. 100, 251-262
- Hynie, O., 1963. Radioaktivní prostá teplice v Jáchymově. Hydrogeologie minerálních vod, část II., Minerální vody, ČSAV, Praha, 765s.
- Chrt, J., Bolduan, H., 1966. Die postmagmatische Mineralisation des Westteils der Böhmischen Masse. Sbor. Geol. Věd, ložisk. Geol., Praha, 8, 113-192.
- Kettner, R., 1915. News on research of ore occurrences in Bohemia. Čas. Mus. Král. čes., Praha, 89, 212-214.
- Kettner, R., 1955. Jáchymov, jeho vznik, sláva a úpadek v šestnáctém století. Vesmír, roč. 34, 345-347.
- Konopásek, J., Schulmann, K., Lexa, O., 2001. Structural evolution of the central part of the Krušné hory (Erzgebirge) Mountains in the Czech Republic – evidence for changing stress regime during Variscan compression. J. struct. Geol., 23, 1373-1392.
- Krejbičová, Z., 1994. Jáchymov – RA terma (Posouzení koncentrační stability radonu), MS Geofond Praha (P 86322/18), 131s.

- Kvaček, M., 1962. Mineralogical and geochemical research of ores of Jáchymov/Joachimsthal district, MS Úst. nerostných Surovin Kutná Hora.
- Laboutka, M., 1962. Report on hydrogeological research in Jáchymov/Joachimsthal area. Zpr. Geol. Výzk., Praha, 23-24.
- Laboutka, M., Pačes, T., 1964. Hydrogeologický a geochemický výzkum vod jáchymovské oblasti (se zřetelem k preventivní ochraně radioaktivních terem v Jáchymově), MS Geofond Praha (P 16636/12-16), 252s.
- Laboutka, M., Pačes, T., 1966. Hydrogeologie a geochemie vod jáchymovské oblasti. Sbor. Geol. Věd, Ř. HIG, Praha, 4, 59-112.
- Macourek, K., Čurda, J., 1963. Evaluation of mining activity of Jáchymovské doly (state corp.) in Jáchymov/Joachimsthal hydrothermal deposit, MS Final Report, Archives DIAMO, Příbram.
- Mrňa, F., Pavlů, D., 1963a. Deposit of Ag-Bi-Co-Ni ores in Jáchymov. Symposium on Problems of Postmagmatic Ore Deposition, Guide to excursion, Praha, 43-53.
- Mrňa, F., Pavlů, D., 1963b. Některé problémy hydrotermálního zrudnění v území východně od karlovarského plutonu na české straně Krušných hor. Sbor. Ústř. Úst. Geol., Odd. Geol., Praha, 28, 523-579.
- Ondruš, P., Veselovský, F., Gabašová, A., Hloušek, J., Šrein, V., 2003. Geology and hydrothermal vein system of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. J. Czech Geol. Soc., 48, 3-4, 3-18.
- Pačes, T., 1969. Chemical equilibria and zoning of subsurface water from Jáchymov ore deposit Czechoslovakia. Geochimica et cosmochimica acta, 33, 5, 591-609.
- Pačes, T., 1974. Jáchymov. Springs of carbon-dioxide water in northwestern Bohemia, Ústř. Úst. Geol., Praha, 82s.
- Päckert, J., 1945. Zpráva o jáchymovských radioaktivních pramenech, MS archiv Státního inspektorátu pro přírodní léčivé zdroje (posudek), Praha.
- Pěček, J., 1983. Jáchymov – 2. fáze RA (Zpráva o výsledcích geologicko - průzkumných prací), MS Geofond Praha (P 40675/1+3), 25s.
- Pěček, J., 1995. Jáchymov – RA terma (Hydrogeologický průzkum zřidelní struktury RA – termy v Jáchymově), MS Geofond Praha (P 86322), 113s.
- Pirchan, A., Markl, J., 1930. Jáchymov, československé státní radiové lázně. Knihovna podniku státních lázní, č. 1, Praha.
- Sattran, V., 1961. Geologie a tektonika jáchymovské rudní oblasti. Kandidátská disertační práce, ÚÚG, Praha.

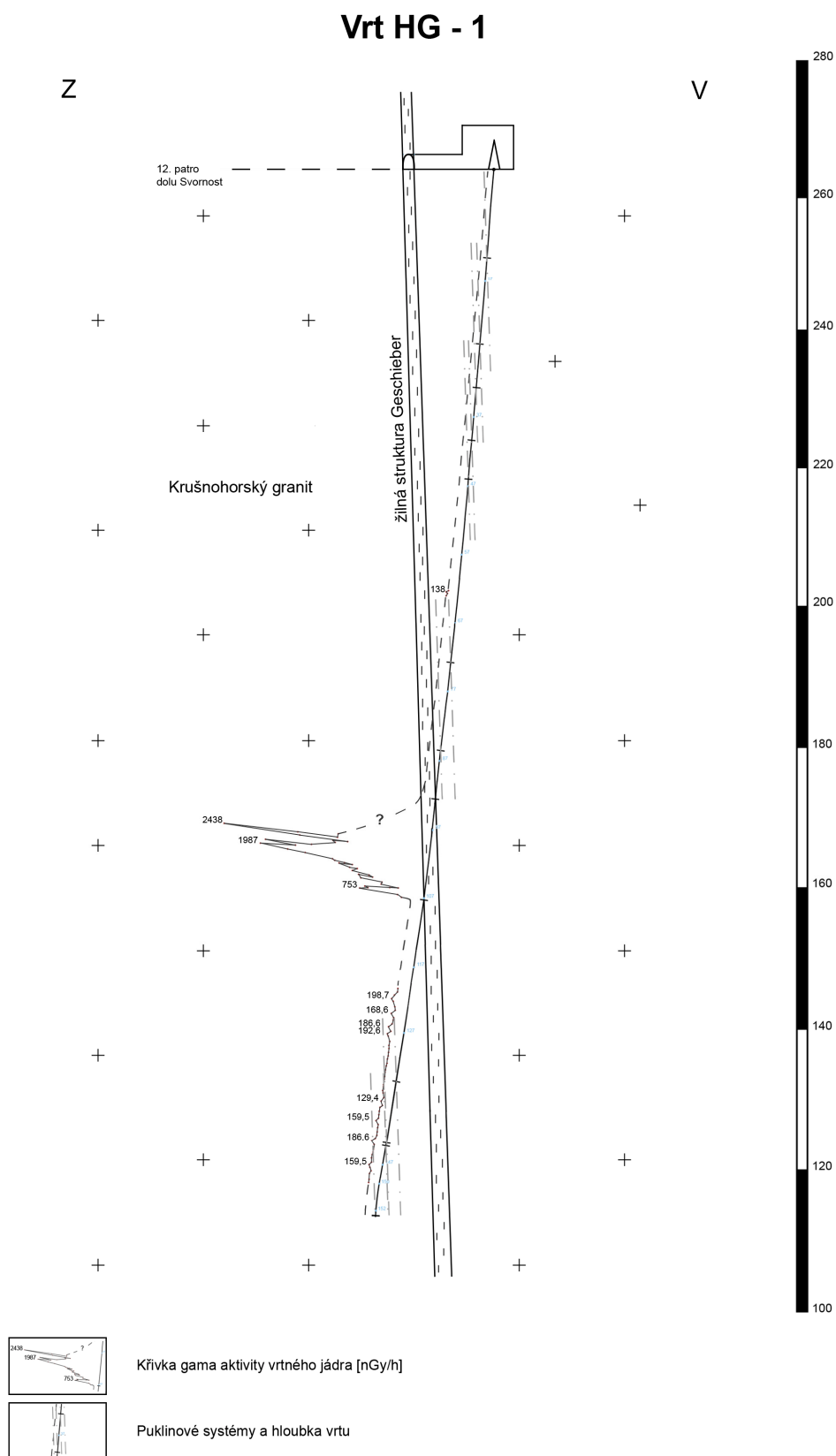
- Sysel, P., 1972. Vystrojení a úprava zhlaví vrtu HG-1 (Akademik Běhounek) v Jáchymově (důl Svornost), MS Geofond Praha (P 9753), 10s., 4příl.
- Veselý, T., Macourek, K., 1962. Vliv morfologie povrchu granitů a zóny exokontaktních změn na uranové zrudnění žil jáchymovského rudního pole, MS archiv ČSUP Příbram.
- Veselý, T., 1986. Stavba a význam jednotlivých žilných uzlů uranového ložiska Jáchymov. Sbor. Geol. Věd, ložisk. Geol. Mineral., Praha, 27, 9-109.
- Wallenfelsová, M., Vylita, B., 1963. Radioaktivní terma v Jáchymově. Acta Univ. Carol., Geol., Praha, 1, 43-65.
- Wood, W., W., Kraemer, T., F., Shapiro, A., 2004. Radon in Ground Water of fractured rocks: A diffusion/ion exchange model, Ground Water, 42, 4,552
- Zeman, J., 1995. Jáchymov – RA terma (Strukturně – geologické poměry jáchymovské oblasti), MS Geofond Praha (P 86322/20), 29s.

## **13. SEZNAM PŘÍLOH**

I. Příloha č. 1: Konstrukce vrtného profilu vrtu HG-1 s vynesáním výsledků gama karotáže vrtného jádra

II. Příloha č. 2: Tabulka naměřených hodnot dávkového příkonu gama záření vrtného jádra HG-1

I. Příloha č. 1: Konstrukce vrtného profilu vrtu HG-1 s vynesáním výsledků gama karotáže vrtného jádra



II. Příloha č. 2: Tabulka naměřených hodnot dávkového příkonu gama záření vrtného jádra HG-1  
 pozn. čáry oddělují jednotlivé vrtné bedničky

hloubka [m]	[nGy/h]	hloubka [m]	[nGy/h]	hloubka [m]	[nGy/h]
62,5	123,4	124,6	144,5	135,6	126,4
62,8	138,5	124,8	132,4	135,8	123,4
63,0	129,4	125,0	144,5	136,0	120,4
63,2	132,4	125,2	162,5	136,2	120,4
99,6	1083,6	125,4	144,5	136,4	117,4
99,7	1113,7	125,6	156,5	136,6	111,4
99,8	1565,2	125,8	150,5	136,8	108,4
99,9	2438,1	126,0	186,6	137,0	129,4
100,0	1535,1	126,2	162,5	137,2	120,4
100,2	963,2	126,4	138,5	137,4	120,4
100,4	1143,8	126,5	132,4	137,6	117,4
100,6	1113,7	126,6	156,5	137,8	126,4
101,6	1384,6	126,8	171,6	138,0	126,4
101,8	1926,4	127,0	192,6	138,2	120,4
102,0	1565,2	127,2	189,6	138,5	123,4
102,4	1986,6	127,4	204,7	138,6	132,4
102,6	1655,5	127,6	162,5	138,8	159,5
102,7	1444,8	127,8	144,5	139,0	126,4
102,9	1113,7	128,0	177,6	139,2	129,4
103,2	1083,6	128,2	180,6	139,4	123,4
103,3	963,2	128,5	171,6	139,6	132,4
103,4	872,9	128,5	147,5	139,8	156,5
103,5	1023,4	128,7	168,6	140,0	159,5
104,0	903,0	128,9	162,5	140,2	129,4
104,1	812,7	129,1	156,5	140,4	126,4
104,3	872,9	129,3	153,5	140,6	123,4
104,6	662,2	129,5	132,4	140,8	132,4
105,0	632,1	129,7	141,5	141,0	135,5
105,0	782,6	129,9	153,5	141,2	141,5
105,2	752,5	130,1	147,5	141,4	132,4
105,4	496,7	130,3	174,6	141,5	123,4
105,6	511,7	130,5	156,5	141,7	120,4
105,8	316,1	130,6	132,4	141,9	138,5
106,0	406,4	130,8	135,5	142,1	123,4
106,2	692,3	131,0	141,5	142,3	114,4
106,4	662,2	131,2	153,5	142,5	135,5
106,6	752,5	131,4	153,5	142,7	141,5
106,8	316,1	131,6	138,5	142,9	192,6
107,1	270,9	131,8	132,4	143,1	186,6
120,5	147,5	132,0	144,5	143,3	183,6
120,7	150,5	132,2	147,5	143,5	141,5
120,9	141,5	132,5	144,5	143,7	132,4
121,1	150,5	132,6	138,5	143,9	141,5
121,3	156,5	132,8	141,5	144,1	144,5
121,5	162,5	133,0	126,4	144,4	150,5
121,7	183,6	133,2	162,5	144,5	138,5
121,9	192,6	133,4	135,5	144,7	135,5
122,1	198,7	133,6	147,5	144,9	141,5
122,3	180,6	133,8	138,5	145,1	135,5
122,5	147,5	134,0	141,5	145,3	141,5
122,5	171,6	134,2	153,5	145,5	150,5
122,7	174,6	134,4	138,5	145,7	147,5
122,9	177,6	134,6	141,5	145,9	138,5
123,1	156,5	134,8	126,4	146,1	126,4
123,3	138,5	135,0	123,4	146,3	141,5
123,5	126,4	135,2	132,4	146,5	159,5
123,7	153,5	135,5	135,5	146,7	144,5
123,9	162,5			146,9	138,5
124,1	168,6			147,1	138,5
124,3	165,6			147,4	141,5
124,5	144,5			147,5	150,5
				147,7	153,5
				147,9	132,4
				148,1	120,4
				148,3	132,4
				148,5	126,4
				148,7	120,4
				148,9	114,4
				149,4	123,4
				149,6	117,4
				150,0	120,4
				150,4	123,4